

Aspectos dinámicos en la obra de João Filgueiras (Lelê): El caso de las pasarelas peatonales

Thiago Gonçalves MOREIRA¹, Graciela N. DOZ¹

¹ Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental
graciela@unb.br

Resumen

La obra del arquitecto brasileño João Filgueiras Lima se destaca por sus soluciones imaginativas diseñadas para satisfacer las necesidades de los futuros usuarios, la máxima eficiencia lumínica y el cuidado del confort térmico, centrándose en técnicas innovadoras que conducen a bajos costes. Con una fuerte preocupación social, sus obras abarcan desde hospitales, escuelas, universidades, hasta pasarelas peatonales. Con relación a las pasarelas, es importante mencionar la necesidad de abordar los aspectos dinámicos de las mismas, para que no estén sometidas a fuertes vibraciones al ser atravesadas por peatones. Así, el objetivo de este trabajo es analizar una de las pasarelas que diseñó, ubicada en la ciudad de Salvador y que tiene características comunes a otras. Los resultados obtenidos numéricamente en términos de aceleraciones generadas por los individuos que cruzan la pasarela se analizan cuidadosamente a la luz de diversos códigos nacionales e internacionales. Este estudio complementa otros realizados en una pasarela ubicada en la ciudad de Brasília, diseñada por el mismo arquitecto, que indicó la posibilidad de vibraciones excesivas en la misma.

Palabras clave: Pasarelas, Vibraciones, Cargas generadas por personas.

Dynamic Aspects in the Work of João Filgueiras (Lelê): The Case of Pedestrian Footbridges

Abstract

The work of Brazilian architect João Filgueiras Lima stands out for its imaginative solutions designed to satisfy the needs of future users, maximum lighting efficiency and care for thermal comfort, while focusing on innovative techniques that lead to low costs. With a strong social concern, his architectural projects range from hospitals, schools, universities, to footbridges. Focusing on footbridges, it is important to mention the need to pay attention on dynamic aspects of them to avoid strong vibrations when crossed by pedestrians. Thus, the focus of this work is the analysis of one of the footbridges he projected, located in the city of Salvador and which has similar characteristics of others. The results numerically obtained in terms of accelerations generated by people crossing the walkway are carefully analyzed taking account of different national and international standards. This study complements others carried out on a footbridge located in the city of Brasília, designed by the same architect, which indicated the possibility of excessive vibrations in it.

Keywords: Footbridges, Vibrations, Loads generated by people

Introducción

João da Gama Filgueiras Lima, también llamado Lelé, fue un arquitecto brasileño conocido por los proyectos arquitectónicos que desarrolló que combinaban arte y tecnología. La mayoría de sus obras se concentran en los estados de la región Nordeste y en Brasilia y se destacan por las técnicas innovadoras utilizadas y el cuidado estético.

Las obras arquitectónicas de Lelé se caracterizan especialmente por la búsqueda de la racionalización e industrialización de la arquitectura. Durante su carrera propuso métodos y procesos de prefabricación de elementos constructivos nunca vistos ni utilizados en el país. La forma en que se utilizaba la **argamasa armada** (técnica que se caracteriza por la disposición de armaduras de malla de acero sobre elementos finos realizados con mortero), en particular, y el acero en sus obras era un hecho que preocupaba a los ingenieros. El uso de la **argamasa armada** de mínimo espesor para las piezas prefabricadas del suelo y del techo, que además de ser abovedada, era colorida, y el diseño extremadamente elegante de los pilares de hormigón en forma de hongo se combinaron para crear un ambiente rejuvenecedor, sugerente y optimista. Entre las innumerables obras de Lelé, que incluyen hospitales, escuelas universidades y diversos edificios públicos, se destacan los puentes peatonales.

Estas pasarelas, presentes en el Distrito Federal y en el estado de Bahía, se caracterizan por módulos de fácil construcción para ser utilizados en diversas pasarelas del país. Se puede observar que los distintos vanos están sostenidos por columnas en formas de hongos de hormigón. Esas pasarelas se caracterizan por el uso de módulos metálicos, que son de fácil construcción y permiten un rápido montaje.

La primera pasarela diseñada por Lelé fue en la región de Salvador, ubicada en la Avenida Paralela, cerca de Imbuí, en junio de 1987. La ligereza de la pasarela definitivamente conquistó a los habitantes de Salvador. Otra pasarela destacada diseñada por João Filgueiras es la ubicada en la ciudad de Brasilia, sobre el tramo EPIA, Cruzeiro Novo/CEASA, en la carretera BR 040, que cuenta con cuatro vanos inclinados (rampas de acceso) y cuatro vanos horizontales, apoyados en columnas en forma de hongos de hormigón.

Un aspecto importante en relación a las pasarelas es que al ser estructuras ligeras y muy flexibles, se caracterizan, desde el punto de vista dinámico, por bajas frecuencias. Este dato es especialmente importante si se observa que estarán sometidos principalmente a cargas dinámicas, generadas por personas que caminan o corren. Aunque no hay consenso entre los investigadores sobre cómo modelar esta carga, todas las propuestas trabajan con funciones periódicas y reconocen que estas cargas también se caracterizan por tener bajas frecuencias. Por lo tanto, la posibilidad de observar vibraciones excesivas es alta y existen varios reportes de problemas de este tipo en la literatura, Živanović (2005).

Por otro lado, la falta de normas brasileñas que aborden el tema agrava el problema en Brasil. Así, considerando el interés que despierta la obra del reconocido arquitecto, este trabajo analiza, desde un punto de vista dinámico, una de las pasarelas que diseñó y que tiene características comunes a otras presentes en varias ciudades de Brasil. Los resultados obtenidos numéricamente en términos de aceleraciones generadas por los individuos que cruzan la pasarela se analizan cuidadosamente a la luz de diversas normas nacionales e internacionales. Este estudio complementa otros realizados en una pasarela ubicada en la ciudad de Brasilia, diseñada por el mismo arquitecto, que indicó la posibilidad de vibraciones excesivas en la misma, Gomes, Ávila y Doz (2007), Gomes, Ávila y Doz (2008) y Silva et al. (2008).

Formulación del problema

Con el aumento de la resistencia media de los materiales utilizados en la construcción de las pasarelas, los elementos estructurales se volvieron más leves y esbeltos. Sin embargo, es común observar problemas de vibraciones excesivas en estas estructuras, provocando problemas de confort e incluso colapso estructural.

Cuando la frecuencia de una carga (en este caso, provocada por la actividad humana) coincide con la frecuencia de un sistema estructural, se produce un aumento significativo de las vibraciones estructurales y el sistema entra en resonancia. Tanto en sistemas amortiguados como no

amortiguados, el aumento de las oscilaciones es tal que lleva al colapso de la estructura, fenómeno que siempre debe evitarse.

El caso más emblemático que ilustra los problemas de vibraciones excesivas en las pasarelas se refiere a la pasarela Millennium de Londres, que cruza el río Támesis.

Inaugurada en junio de 2000, presentaba fuertes oscilaciones, principalmente laterales, cuando una multitud caminaba sobre él. El movimiento observado, llamado *lock in*, es producto de la sincronización de los pasos que dan las personas. Como resultado, tuvo que permanecer cerrado durante dos años mientras se estudiaba un sistema de control estructural adecuado que absorbiera estas oscilaciones. La solución encontrada consistió en un sistema de amortiguadores pasivos, con 37 amortiguadores visco-fluidos y 29 pares de amortiguadores de masa sintonizados con la función de controlar el movimiento lateral, torsional y vertical. Después de la instalación de los dispositivos, no hubo más episodios de vibraciones excesivas, Venuti y Reggio (2018), Acito *et al* (2021).

Situaciones similares se observaron en otras pasarelas, lo que hizo necesario un estudio en profundidad sobre el tema. Incluso una conferencia internacional sobre el tema, Footbridges, comenzó en París en 2002 y se repite cada tres años, reuniendo a investigadores de todo el mundo.

Tabla 1 - Valores medios de frecuencia de paso.

Movimiento	Frequência (Hz)			
	Wheeler (1982)	Bachmann e Ammann (1987)	J. Strásky (2005)	Gonilha et al. (2013)
Caminada lenta		~ 1,70		
Caminada normal		~ 2,00		
Caminada rápida		~ 2,30		
Corrida lenta		~ 2,50		
Corrida normal		-		
Corrida rápida		> 3,20		

En relación con las cargas que caracterizan la acción humana, como caminar, saltar, brincar, etc. Existe consenso en que se trata de una acción de carácter periódico caracterizada por bajas frecuencias como las observadas en la Tabla 1 organizada por Pereira (2017).

Según Živanović *et al* (2005), durante una caminata, un peatón produce una fuerza dinámica variable en el tiempo con componentes en tres direcciones principales: vertical, lateral horizontal y longitudinal horizontal. La fuerza vertical se considera la más importante de las tres ya que tiene la mayor magnitud. Sin embargo, este enfoque de modelo matemático simplificado ha sido discutido en los últimos años, dando paso a nuevos modelos que son más precisos y que describen mejor las características temporales, además de tener en cuenta la estructura humana y la interacción persona-humana Živanović (2015), Muhammad ZO, *et al.*(2018), Wang y Chen (2017). En esta presentación, se adoptó una formulación de carga simplificada ya que la discusión sobre su modelado no es el foco de este trabajo.

Para completar este ítem es necesario abordar la cuestión de las normas vigentes en Brasil y otras normas internacionales que tratan el tema. En general, abordan el tema a través de recomendaciones sobre frecuencias características mínimas o, las más avanzadas, estableciendo límites para aceleraciones máximas que buscan garantizar el confort del usuario.

Según la norma NBR 7188 (2013), que trata sobre carga móvil vial y peatonal en puentes, viaductos, pasarelas y otras estructuras, la carga a utilizar en las pasarelas debe estar uniformemente distribuida, de valor $p=5,0 \text{ kN/m}^2$, aplicada al piso y elementos de protección lateral en la posición más desfavorable. La misma norma también establece que se debe considerar, como medida para mitigar posibles impactos, una carga puntual horizontal de 100 kN, aplicada en el punto más desfavorable de la estructura de la pasarela. Finalmente, se recomienda que cuando se trabaje con pasarelas esbeltas y leves, sometidas a la acción del viento y a la acción dinámica de los peatones, principalmente en estructuras metálicas, mixtas, suspendidas o atirantadas, se verifique la estabilidad global mediante modelos dinámicos y que consideren el fenómeno de fatiga, sin especificar criterios más objetivos al respecto.

La NBR 8800 (2008) es una guía para el diseño de estructuras de acero y mixtas y aborda el problema de las vibraciones, especificando que en ningún caso la frecuencia natural de la estructura del piso puede ser inferior a 3 Hz. La norma establece que en pisos donde personas caminan habitualmente, como en casas y oficinas, la frecuencia natural más baja no puede ser inferior a 4 Hz. Según la misma norma, esta condición se cumple si el desplazamiento vertical total del suelo provocado por acciones permanentes, excluyendo la parte que depende del tiempo y acciones variables, no supera los 20 mm considerando vigas biapoyadas.

La NBR 6118 (2014), que trata de estructuras de hormigón, establece que la frecuencia crítica de las vías peatonales o de ciclistas es de 4,5 Hz y que la construcción debe tener una frecuencia vertical distante en 20% de este valor.

Aunque en este trabajo se comparan los resultados de las aceleraciones con las especificadas en códigos internacionales (AASTHO, 2009; BS 5400 (2006); EUROCODE 1: 2003, ISO 10137: 2007; SÉTRA/AFGC: 2006) no se abordará aquí su descripción detallada por limitaciones de espacio.

Pasarela estudiada

El paseo peatonal analizado en este trabajo es el paseo 03 ubicado en la vía rápida de acceso al puerto de Salvador, en el Km 2,3, mostrado en la Figura 1. El paseo tiene una longitud total de 217 metros, con dos rampas de acceso inclinadas, y dos centrales, vanos horizontales, que descansan sobre 3 columnas metálicas recubiertas con una capa de argamasa armada y reforzado en forma de hongo.



Figura 1: Pasarela 03, Km 2,3 – Salvador, Bahia, Brasil.

Con base en los resultados obtenidos anteriormente en el análisis de la pasarela de Brasilia, en el que se optó por centrar la atención en el tramo inclinado, el más flexible y el que presentaba las vibraciones más significativas, se decidió trabajar ahora en uno de los tramos horizontales. Así, la sección estudiada corresponde a uno de los vanos centrales, horizontales, considerado apoyado en dos columnas que consta de dos retículas de 14 módulos separadas 2,20 m. Cada uno de los módulos está compuesto por dos barras transversales inferiores, una transversal superior, cuatro diagonales, dos cordones superiores, dos cordones inferiores y el piso de concreto. Las barras superiores e inferiores de las retículas, de sección metálica rectangular, tienen una longitud de 2,84 m. Las barras diagonales son de sección hexagonal y las barras transversales de sección rectangular. El ancho útil de la pasarela es de 2,20 m, siendo el ancho total de 2,60 m con el aporte de las barras inferiores. La pasarela tiene 2,3 m de altura y la cobertura tiene forma semicircular. El piso de hormigón armado tiene un espesor de 4 cm. En cuanto a las propiedades de los materiales, la Tabla 2 presenta los materiales utilizados para la modelación numérica del tramo de la pasarela 03, a 2,3 km de Salvador, así como los módulos de elasticidad y los respectivos pesos específicos de los materiales.

Tabla 2– Propiedades de los materiales utilizados en el modelo numérico de la pasarela

Material	Módulo de elasticidad (Pa)	Peso específico (Kg/m ³)	Coefficiente de Poisson
Acero ASTM A242		7900	0,29
Hormigón Armado		2548,42	0,2
Argamasa Armada		2242,61	0,2

La sección de la pasarela modelada y analizada en Ansys Workbench, contiene 16.715 nodos y 13.634 elementos. Para modelar los perfiles metálicos se utilizó el elemento BEAM188, para el suelo se utilizó el elemento SHELL181, y tanto la baranda como las ménsulas se consideraron como masa adicional mediante el elemento MASS21.

La opción de considerar los elementos no estructurales como una masa concentrada adicional se sustenta en el trabajo de Santos (2009) y Silva *et al* (2008).

Resultados y discusión

Inicialmente se realiza el análisis modal y las primeras 4 frecuencias naturales, junto con las formas modales, se describen en la Tabla 3.

Las frecuencias obtenidas en este estudio son cercanas a las encontradas experimental y numéricamente en una pasarela de características similares ubicada en la ciudad de Brasilia estudiada por Gomes, Ávila y Doz (2007), Gomes, Ávila y Doz (2008) y Silva et al (2008). En esa pasarela, el tramo horizontal tenía una frecuencia fundamental de 2,58 Hz (flexión lateral con torsión), corroborado por estudios experimentales, mientras que el tramo inclinado, más flexible, indicó 2 Hz (flexión lateral con torsión), 2,89 Hz (flexión lateral) y 2,99 Hz (flexión vertical). Esta información permite que se considere válido el modelo aquí presentado y avanzar con análisis numéricos basados en él.

El análisis comparativo con normas indica que la primera frecuencia presenta valores inferiores a los establecidos por la NBR 6118 (2014).

Según AASHTO (2009) – Especificaciones guía para el diseño de puentes peatonales, la frecuencia fundamental vertical debe ser mayor a 3 Hz y

la frecuencia horizontal debe ser mayor a 1,3 Hz. Ambas especificaciones son cumplidas por la estructura en estudio. Un análisis similar se especifica en el EUROCODE (2003) – Acciones en estructuras – Parte 2: Cargas de tráfico en puentes en relación con la frecuencia fundamental vertical de la pasarela, mientras que la frecuencia fundamental horizontal debe ser superior a 1,4 Hz, ambas directrices se cumplieron.

ISO 10137 (2007) – Bases para el diseño de estructuras – Capacidad de servicio de edificios y pasarelas contra vibraciones da ejemplos de parámetros de diseño para frecuencias relacionadas con actividades humanas. Las actividades realizadas por personas en movimiento, como caminar y correr, tienen un rango de frecuencia de 1,8 Hz hasta aproximadamente 5 Hz considerando los dos primeros armónicos de la función periódica que la representa. Por lo tanto, los resultados encontrados en este estudio se encuentran dentro de este rango e indican la necesidad de estudios más profundos.

El guía SÉTRA/AFGC (2006) indica que la acción de caminar se caracteriza por frecuencias que oscilan entre 1,6 Hz y 2,4 Hz, mientras que la actividad de correr por frecuencias en el rango de

Tabla 3 – Modos y frecuencias del trecho horizontal de la pasarela.

Modo de Vibración	Frecuencia (Hz)	Descripción del modo de vibración	Vista en frente y en planta de la forma modal
1	2,4333	1º modo de flexión lateral con torsión	
2	3,6377	1º modo de flexión vertical	
3	4,1312	2º modo de flexión lateral	
4	4,9232	3º modo de flexión lateral	

2 Hz a 3,5 Hz. Considerando estas premisas, la primera forma modal podría ser excitada con la pasarela sometida a ambas actividades.

La norma BS5400 (2006) recomienda una frecuencia fundamental vertical superior a 5 Hz, recomendación que no se cumple, por lo que es necesario realizar un análisis dinámico utilizando una carga concentrada F que se desplaza por el vano principal con una velocidad constante, como se describe en las ecuaciones (1) y (2):

$$F = 180 \sin(2\pi f_0 T), \text{ resultado en N} \quad (1)$$

Con T , tiempo, en segundos y f_0 , frecuencia fundamental de la estructura, en Hz.

$$v_t = 0,9 f_0, \text{ resultado en m/s} \quad (2)$$

Estas especificaciones se utilizaron para realizar el estudio considerando cargas externas, el cual se presenta a continuación. Nótese que la carga correspondiente a un peatón caminando o corriendo se distribuye temporal y espacialmente.

Inicialmente se consideraron las cargas inducidas sobre la estructura por una persona corriendo, situación que es bastante probable que ocurra. Estas cargas se distribuyen entre los dos pies, situados a 20 cm entre sí, y cambian de posición (puntos de color rosa en la Figura 2) y, a su vez, se transfieren a los nudos de las retículas metálicas. El tiempo de análisis fue de 15 segundos.

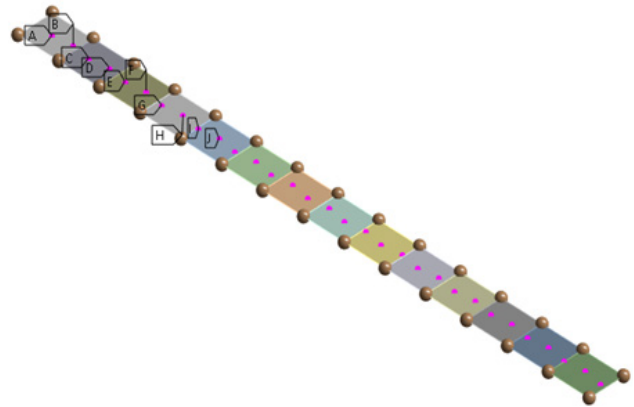


Figura 2: Distribución de la carga a lo largo de la pasarela.

Las aceleraciones observadas en el nodo central de la pasarela resultantes de la aplicación de la carga se representan en la Figura 3.

Al analizar la Figura 3, se puede observar que la aceleración máxima fue de $0,017 \text{ m/s}^2$, resultado que cumple con los criterios BS5400.

También se realizó una simulación con una persona saltando sobre el nodo central de la pasarela, lo que podría representar personas jugando o incluso un acto de vandalismo, lo cual es menos probable que ocurra. En este caso, la carga se aplica a un único punto, el central, utilizado también para registrar aceleraciones, y presenta sólo una variación temporal. Los resultados en términos de aceleraciones verticales se representan en la Figura 4. Se puede observar que la aceleración máxima fue de

Tabla 4 – Resumen de los análisis realizados a la luz de las normas nacionales e internacionales.

Norma	Situación	Comentarios
NBR 6118	No atiende a los requisitos	Frecuencia fundamental inferior a la estipulada
NBR 7188	No se aplica	No están previstas verificaciones acerca del confort de los usuarios
NBR 8800	Atiende a los requisitos	Frecuencia fundamental superior a la mínima exigida
AASHTO	Atiende a los requisitos	Frecuencias verticales y horizontales ok.
BS5400	Atiende a los requisitos	No atiende límites definidos de frecuencia. Atiende límites de aceleraciones
EUROCODE 1	Atiende a los requisitos	Frecuencias verticales y horizontales ok.
SÉTRA/AFGC	Atiende a los requisitos	Sin necesidad de análisis

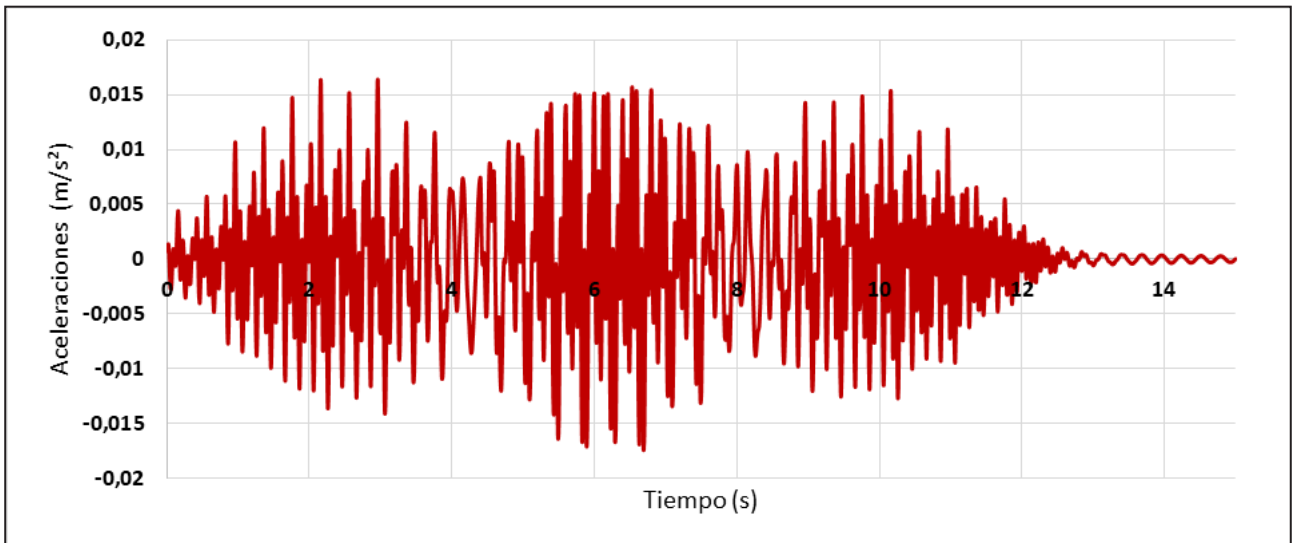


Figura 3: Aceleraciones verticales en el punto central de la pasarela para una persona corriendo

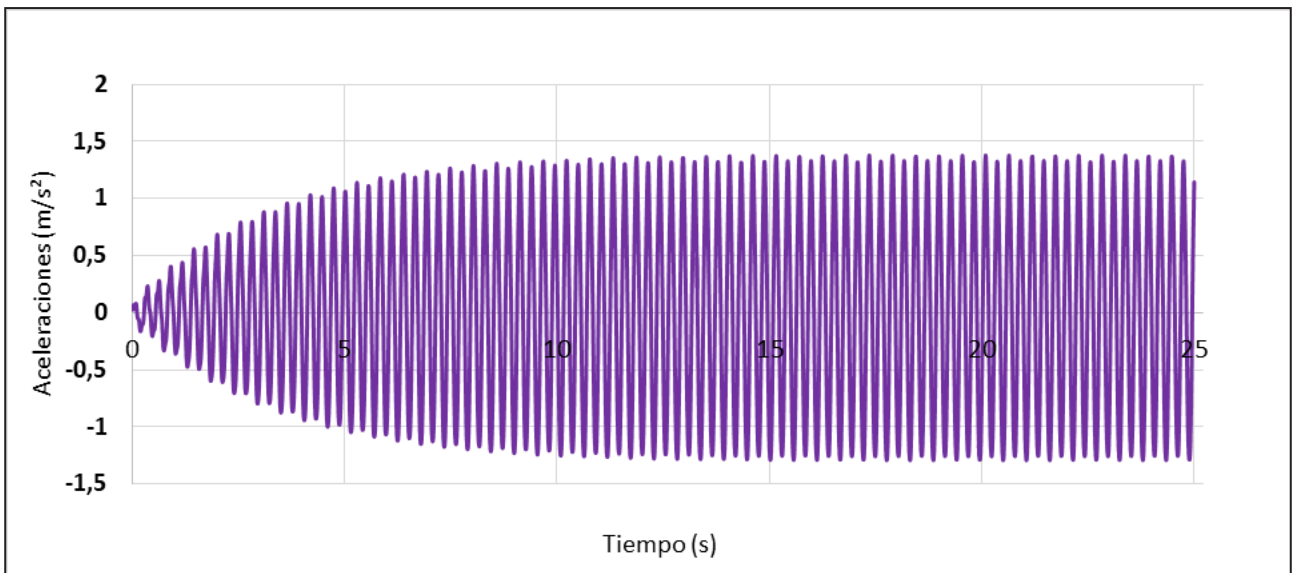


Figura 4: Aceleraciones verticales registradas en el punto central de la pasarela

1,38 m/s², superior a los valores máximos que cumplirían con las especificaciones de confort según BS5400 (2006).

De acuerdo con los resultados obtenidos, la Tabla 4 resume la situación general de la pasarela a la luz de las normas nacionales e internacionales.

Se puede observar que la pasarela en estudio sólo cumplió con los requisitos de la NBR 8800 respecto a las normas vigentes en Brasil, en cambio todas las normas internacionales aplicables tuvieron sus condiciones cumplidas.

Dado que las aceleraciones verticales encontradas en las simulaciones fueron inferiores a las encontradas en el estudio del tramo inclinado de la pasarela de la ciudad de Brasilia, no se consideró necesario abordar situaciones más desfavorables, como las resultantes del andar sincrónico o asincrónico de grupos de peatones por la estructura. En dicha estructura, luego de analizar diferentes configuraciones de carga y verificar que los niveles de aceleración superaban los máximos indicados por las normas, se estudió una propuesta de un sistema de

control de vibraciones mediante amortiguadores de masas múltiples sintonizados, propuesta que podría aplicarse a la sección inclinada de la pasarela presentada aquí.

Conclusiones

Este trabajo abordó el estudio dinámico de una de las obras del arquitecto brasileño João Filgueiras, Lelê. La estructura elegida fue una pasarela ubicada en la ciudad de Salvador y el objetivo de este estudio fue complementar investigaciones anteriores ya realizadas en una pasarela similar en la ciudad de Brasilia.

El modelo numérico adoptado, que simula elementos no estructurales como masas adicionales, fue validado mediante los resultados del análisis modal. Las primeras frecuencias, considerando el intervalo crítico correspondiente y las respectivas formas modales obtenidas, fueron comparadas con resultados numéricos y experimentales obtenidos previamente en la pasarela de Brasilia. La similitud entre ellos permitió continuar trabajando con el modelo numérico de forma segura.

Las frecuencias obtenidas, en comparación con las normas vigentes en Brasil, podrían llevar a un sobredimensionamiento innecesario

de la pasarela para satisfacer la demanda de frecuencias naturales más altas, lo que a su vez podría hacer que el proyecto sea antieconómico en algunos casos.

Considerando los códigos internacionales, se puede observar que la pasarela presentó, en general, frecuencias que indican seguridad para los usuarios que desean transitarla.

En la evaluación de aceleraciones máximas se consideraron dos casos, el de una persona que corre considerando la variación temporal y espacial de las cargas inducidas, y el de una persona que salta. Los resultados obtenidos están dentro de los límites establecidos por las normas, en general. Sin embargo, cabe destacar que en el caso de personas corriendo se podrían percibir vibraciones elevadas dependiendo de la frecuencia de la actividad y del número de personas involucradas.

Estos resultados, sumados a otros obtenidos previamente en una pasarela ubicada en Brasilia, corroboran que las pasarelas diseñadas por João Filgueira tienen bajos niveles de vibración cuando son atravesadas por una persona. Los tramos más vulnerables son las rampas de acceso, que podrían vibrar significativamente al tratarse de grupos de peatones.

Referencias

AASHTO (2009). LRFD Guide Specification for the Design of Pedestrian Bridges. [S.I.].

American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington.

Acito, M; Mastrangelo, R.; Magrinelli, E.; Simoncelli, M. (2021) "Design strategies of vibration mitigation systems for an existing suspended footbridge". *Engineering Structures*, v.249.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2008). Nbr 8800: Projetos De Estruturas De Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013). ABNT NBR 7188: Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014). ABNT NBR 6118: Projetos de Estruturas de Concreto - Procedimentos.

British Standards Association (2006). BS 5400: Steel, concrete and composite bridges – Part 2: Specification for loads.

EUROCODE (2003). Basis of structural design. [S.I.]. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

ISO 10137 (2007). Bases for design of structures—Serviceability of buildings and walkways against vibrations. Geneva, Switzerland.

- Gomes, D. H. M., Avila, S. M., Doz, G. N.** (2007). “Estudo do Comportamento Dinâmico de uma Passarela de Pedestres da Cidade de Brasília”. *Revista Sul-Americana de Engenharia Estrutural*, v. 4/2, p. 39-56.
- Gomes, D. H. M., Avila, S. M., Doz, G. N.** (2008). Multiple tuned mass damper controlling vibrations of a footbridge. In: *Footbridge 2008*.
- Muhammad ZO., Reynolds P, Avci O, et al.** (2018) “Review of pedestrian load models for vibration serviceability assessment of floor structures”. *Vibration* 2(1):1–24.
- Pereira, S. P** (2017). “Desempenho dinâmico de sistemas estruturais de passarelas.” Dissertação de Mestrado, Publicação MTARH.DM-17A/17, p. 130, 2017. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- Santos, I. C** (2009). “Atualização do modelo numérico em elementos finitos de uma passarela de pedestres com base em dados experimentais.” Dissertação de Mestrado, Publicação E.DM-010A/09, p. 136, 2009. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Silva, A. B., Doz, G. N., Brito, J. L., Pimentel, R. L.** (2008). Role of non-metallic components on the dynamic behavior of composite footbridges. In: *Footbridge 2008*, Porto.
- SÉTRA** (2006). *Footbridges – Assesment of vibrational behavior of footbridges under pedestrian loading – Practical Guidelines*. [S.l.], 2006. Technical Department for Transport, Roads and Bridges Engineering and Road Safety, França.
- Venuti F., Reggio A** (2018) “Mitigation of human-induced vertical vibrations of footbridges through crowd flow control”. *Structural Control and Health Monitoring* 25(12).
- Wang J., Chen J** (2017) “A comparative study on different walking load models”. *Structural Engineering and Mechanics* 63(6): 847–856.
- Živanović S** (2015) Modelling human actions on lightweight structures: experimental and numerical developments. In: *MATEC web of conference: EVACES’15, 6th international conference on experimental vibration analysis for civil engineering*, vol. 24, Dübendorf, 19–21 October, p. 01005. Les Ulis: EDP Sciences
- Živanović, S., Pavic, A., Reynolds, P.** (2005). “Vibration serviceability of footbridge under human-induced excitation: A literature review.” In: *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 279, No. 1-2, pp. 1-74.

AUTOR

MOREIRA, Thiago Gonçalves ID  0009-0000-2201-0144

DOZ, Graciela N. ID  0000-0001-6428-4012



REVISTA DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍA
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología